

УДК 681.513.1/6.622.691:519.8

У статті представлено опис алгоритмів керування компресорним цехом газоперекачувальних агрегатів, розміщених у розподіленому багаторівневому програмному регуляторі режиму цеху

Ключові слова: система контролю і керування компресорним цехом, програмний регулятор режиму

В статье представлено описание алгоритмов управления компрессорным цехом газоперекачивающих агрегатов, реализованных в распределенном многоуровневом программном регуляторе режима цеха

Ключевые слова: система контроля и управления компрессорным цехом, программный регулятор режима

In article the description of algorithms of regulation by compressor shop (CS) gas pumping units realized in the dispersed multilevel program regulator of a mode of shop is presented

Keywords: Manufacturing execution system of CS, a program regulator of a mode

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЕ ПРОГРАММНОГО РЕГУЛЯТОРА

К. Ю. Слободчиков

Главный специалист ООО «Вега-ГАЗ»
ул. Кирпичные выемки, 3, г. Москва, 117405
Контактный тел.: +7(495)-881-79-33, 8-095-863-59-48
E-mail: slob@vega-gaz.ru

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями

Организация автоматического управления компрессорными станциями (КС) и компрессорными цехами (КЦ) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) является одной из актуальнейших задач интенсификации эксплуатации газотранспортных систем, опирается на современные тенденции развития отечественной и зарубежной технической базы автоматизации, широкие функциональные возможности современных программно-технических комплексов, решение которой позволяет реализовать следующие целевые установки [1]:

- снижение роли «человеческого фактора», зачастую приводящего к опасным ситуациям при управлении сложными объектами;
- сокращение количества оперативного персонала;
- перевод компрессорных цехов на работу в условиях применения «малолюдных технологий»;
- повышение безопасности эксплуатации за счет более качественного управления;
- рост экономической выгоды за счет сочетания новых производственных и информационных технологий, позволяющих повысить производительность и сократить потери и производственные затраты.

Анализ исследований и публикаций опыта внедрения и интеграции систем управления фирм: НПФ «Система-Сервис», «Compressor Control Corporation» - ведущих поставщиков САУ ГПА и АСУ КЦ на предприятиях ОАО «ГАЗПРОМ» освещает положительные результаты организации взаимодействия систем, полученные при внедрении разработанных методов автоматического управления режимом цеха [2].

При этом на практике уровень решений в автоматизации технологических процессов компрессорных цехов, реализованных на локальных САУ, в ряде случаев представляет набор подходов, при которых достигается лишь установка централизованного информационного сбора данных, а функции управления режимом цеха остаются в руках человека-оператора.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Расхождения между требуемыми установками, публикациями и практическим результатом вызваны тем, что организация подлинной интеграции систем управления ГПА и КЦ, автоматизация технологического процесса требует обязательного учета системных факторов (таблица №1), осложняющих внедрение и эксплуатацию

алгоритмов управления, получение эффективной работы функций автоматического регулирования режимом.

Таблица №1

ФАКТОРЫ	ДЕТАЛИЗАЦИЯ
Сложность системы	Сложность архитектуры комплексной системы. Необходимость взаимодействия с разнотипными системами. Большие транспортные задержки объекта управления, необходимость учета и организации взаимодействия большого количества параметров на разных уровнях системы.
Системность разработки и внедрения	Планирование и выполнение работ должны быть организованы таким образом, чтобы в определенные временные сроки обеспечить разработку опытного образца системы, его отладку, апробацию на объекте и последующее внедрение в эксплуатацию при соблюдении всех режимных, технологических, организационных и финансовых ограничений.
Методы управления режимом компрессорного цеха	Необходимость разработки методов регулирования режимом КЦ отвечающих жестким технологическим требованиям изменяющейся топологии сети и изменяющимся параметрам режима КЦ.
Методы распределения нагрузки между ГПА КЦ	Необходимость разработки методов распределения нагрузки между ГПА в КЦ позволяющих достигать максимальную экономичность работы оборудования, одновременно обеспечивающих надежность поддержания заданного режима, возможность реализации многообразия технологически реализуемых решений на базе неформализованной информации человека-оператора.
Централизованное распределение и управление	Необходимость распределения задач согласно имеющимся аппаратным и программным ресурсам систем управления. Организация межпрограммного взаимодействия в распределенном агрегатно-цеховом комплексе.
Масштаб времени	Обеспечение работы штатного программного обеспечения в масштабе реального времени для систем разного уровня иерархии, при значительном увеличении количества решаемых в системах задач.
Топология информационных потоков	Сбор и передача дополнительных данных.
Математическое обеспечение	Расчет допустимых границ работы оборудования. Расчеты значений опорных параметров регулирования на разных уровнях системы. Расчет и формирование моделей оборудования и функциональных зависимостей контролируемых параметров.
Возмущения, помехи, в данных прямых измерений и целостность измерительных каналов.	Организация дополнительной фильтрации выбранных параметров, участвующих в важных расчетах и регулировании, резервирование данных.
Управляемость системы	Обеспечение полноты необходимой для управления измеряемой и расчетной информации.

Готовность аппаратуры к внедрению новых функций	Проверка и настройка требуемого качества функционирования измерительной и исполнительной аппаратуры.
Учет динамики объектов управления.	Необходимость разработки модели объекта и использования ее в алгоритмах регулирования для учета динамических свойств объекта регулирования.
Интерфейс оператора	Учет психологических факторов оператора. Подготовка персонала к работе с новыми функциями системы.
Унификация систем	Необходимость применения единых стандартов в расчетных модулях и отображении технологической информации.

Представленная таблица одновременно позволяет сформулировать **постановку основной цели данной работы** – разработку методов и алгоритмов управления режимом и распределения нагрузки между ГПА с учетом всех перечисленных системных факторов.

Описание основного материала

Объект управления - компрессорный цех газоперекачивающих агрегатов чрезвычайно сложен во всех смыслах – имеет большое число составляющих, обладает нелинейной динамикой, должен работать в рамках жестких временных ограничений, подвержен постоянному изменению внешних условий, требует высокого уровня управляемости и надежности.

Задачами программного регулятора режима (ПРР) уровня КЦ являются:

- стабилизация переменной процесса (давления на выходе КЦ, объемной производительности, коммерческой производительности либо степени сжатия);
- удержание любой ограничивающей переменной процесса в безопасном диапазоне, а так же максимальная загрузка цеха, если этот режим выбран оператором;
- распределение нагрузки между совместно работающими ГПА, обеспечивающими требуемый расход или давление цеха;
- согласованное взаимодействие с алгоритмами антипомпажного регулирования и защиты при работе агрегата(ов) вблизи предпомпажных границ.

Для решения перечисленных задач были разработаны следующие методы регулирования:

- функциональный нелинейный метод (ФНМ) регулирования давления на выходе цеха для компенсации большой инерционности, вызванной аккумулярующими свойствами газопровода, оперирующий с математической моделью цеха;
- оптимизационный метод распределения нагрузки между ГПА для поиска решения, удовлетворяющего условию минимизации суммарных топливных затрат[3,4,5,6];
- параметрический метод экспертных оценок оператора, как инструмент человеко-машинной системы взаимодействия, позволяющий использовать в процессе выработки управляющих воздействий опыт человека-оператора[4].

Уровни взаимодействия функций регулятора режима в программном обеспечении СКУ КЦ и САУ ГПА представлены на рис.1.



Рис. 1. Уровни взаимодействия программных модулей SKU КЦ РИУС и САУ ГПА «Квант»

Работа сменного персонала КЦ представляет чередование монотонной и активной деятельности и связана с выполнением множества действий, от которых напрямую зависит надежность работы оборудования цеха. Условия работы оператора в период активной деятельности характеризуются высокой информационной нагрузкой, повышенным уровнем ответственности, требованиями быстрой реакции на нештатные события, необходимостью анализировать ситуации и принимать решения в кратчайшие сроки.

Общая организация производства уровней КС – КЦ сегодня не позволяет полностью исключить человека из процесса управления режимом компрессорного цеха, поэтому разработка и внедрение функций автоматического управления режимом происходила с учетом эргономических принципов построения систем «человек-машина-АСУ ТП» [7,8,9], что обеспечило органичное распределение функций между оператором и SKU КЦ, рис. 2.

и многоуровневого программного регулятора режима КЦ. В состав интерфейса входят:

- видеокдры «Регулирование», «Нагнетатель», «Блокировки», «Условия»;
- база переменных, формирующая сигнализацию о важных событиях работы регулятора цеха;
- средства отображения информации о готовности, условиях включения в работу функций регулятора, значениях текущих контролируемых параметров регулирования и промежуточных расчетных данных;
- средства управления, позволяющие активно взаимодействовать с программным обеспечением SKU КЦ и САУ ГПА, осуществлять выбор режимов управления и параметров регулирования;
- средства ввода данных, устанавливающие необходимые значения контролируемых параметров: уставки по производительности, степени сжатия, давлению, уставки по оборотам ТНД, допустимой минимальной зоны оборотов ГПА, удаленности до ограничителей, химической плотности компримируемого газа, текущем барометрическом давлении.

Все рабочие параметры ГПА, участвующие в работе регулятора режима, поступают в интерфейс оператора через блок обработки данных, расположенный в контроллере SKU КЦ.

Блок обработки данных обрабатывает аналоговые значения и дискретные сигналы работы САУ ГПА и формирует условия работы регулятора режима, в нем производится расчет общецеховых параметров – производительность цеха, расчет

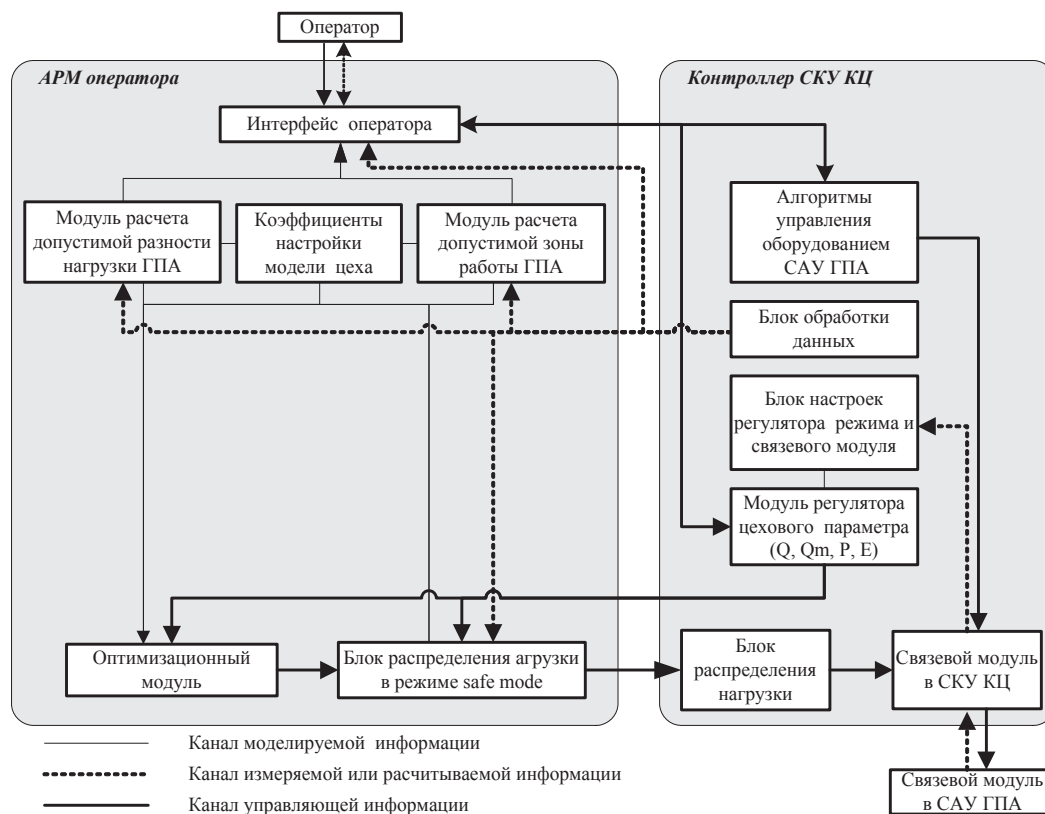


Рис. 2. Первый и второй уровни взаимодействия программных модулей ПРР

На первом уровне взаимодействия происходит обмен информацией и сигналами управления между рабочей станцией оператора и контроллером SKU КЦ. Интерфейс оператора представляет собой инструмент взаимодействия человека

суммарного потребляемого топливного газа, суммарной мощности цеха. Данный блок является ключевым в программном регуляторе, его работа взаимосвязана с программными модулями расчета допустимой зоны работы ГПА, расчета допустимой разности нагрузки

ГПА, блоком распределения нагрузки, модулем регулятора цехового параметра, рисунок 2.

Модуль расчета допустимой зоны регулирования ГПА формирует расчет максимально допустимых оборотов турбины низкого давления (ТНД) и минимально допустимых оборотов ТНД на данном режиме работы ГПА по заданным зависимостям, и текущим значениям параметров:

- Температура продуктов сгорания перед ТВД и за ТНД;
- Вибрация привода и нагнетателя;
- Положение направляющего аппарата;
- Обороты турбины высокого давления (ТВД) и ТНД;
- Производительность нагнетателя.

Функциональный базис формул, по которым рассчитываются максимум и минимум оборотов ТНД, позволяет получать адекватные прогнозируемые значения на любом режиме работы ГПА, в любой климатический период работы без необходимости дополнительной настройки коэффициентов модели [4,5].

Метод определения допустимых границ использует классический подход линеаризации сложных функциональных зависимостей, заменой их приращениями [2,10].

К примеру, зависимость изменения температуры за турбиной низкого давления (ТНД) от изменения оборотов ТНД можно представить в виде полинома второй степени $\Delta T(\Delta n) = a_0 + a_1 \Delta n + a_2 \Delta n^2$, в котором коэффициент $a_0 = 0$. Подобным образом формируются взаимные зависимости производительности, оборотов, давлений, температур и других контролируемых параметров ГПА. Расчет и выборка наименьшей дельты для максимального и минимального значения оборотов ТНД на данном режиме среди всех функциональных зависимостей позволяет определить допустимые границы работы ГПА. Реализованный в ПРР метод расчета границ позволил на 1.5% увеличить производительность агрегатов пяти компрессорных цехов предприятия ООО «Газпром трансгаз Ухта».

Алгоритмы управления оборудованием САУ ГПА – включают комплекс программных решений, позволяющих не допускать развитие помпажных явлений в нагне-

тателе при любой схеме работы ГПА (рис. 3), кроме того, в данном блоке формируются команды, позволяющие запускать ГПА с пульта РИУС, задавать обороты ТНД ГПА при «дистанционном» режиме управления цехом.

Удаленность от зоны помпажа определяется через параметр «Производительность нагнетателя» в штатном режиме функционирования, при этом непрерывно автоматически ведется контроль показаний вибраций привода и нагнетателя ГПА, вычисляется амплитуда пульсаций перепада на конфузоре нагнетателя. Алгоритм антипомпажной защиты (АПЗ) обеспечивает безопасную работу нагнетателя путем открытия АПК, 3-го или общецехового 6-го крана (при неполнонапорной схеме включения ГПА), разгружая агрегат в ситуациях, когда нагнетатель выходит на границы допустимых режимов работы по давлению или запасу по помпажу, рис 4.

Если в результате изменения режима работы нагнетателя запас по помпажу станет менее 15%, то происходит открытие АПК по ПИ-закону регулирования. Чем меньше будет удаленность от зоны помпажа, тем темп открытия АПК будет больше. В результате открытия АПК и увеличения расхода через нагнетатель, запас по помпажу увеличится, а при достижении значения 15%, процесс открытия АПК прекратится. АПК будет обеспечивать строго необходимое количество рециркуляции газа для безопасной работы нагнетателя.

Сигнал на полное открытие АПК и перевод его в ручное положение выдается при любой из следующих ситуаций:

- при достижении запаса по помпажу 10% и непрерывного пребывания в этой зоне более 2-х секунд;
- при достижении запаса по помпажу 5% и непрерывного пребывания в этой зоне более 0.5 секунды;
- сразу при достижении запаса по помпажу 0%;
- при достижении давления на выходе нагнетателя предупредительного значения;
- при росте на 1/3 от текущего значения за 10 секунд 2-х и более параметров вибрации нагнетателя при запасе по помпажу менее 30% (при наличии 4-х точек контроля вибрации);
- при росте на 1/3 от текущего значения за 10 секунд 1-го и более параметров вибрации нагнетателя при

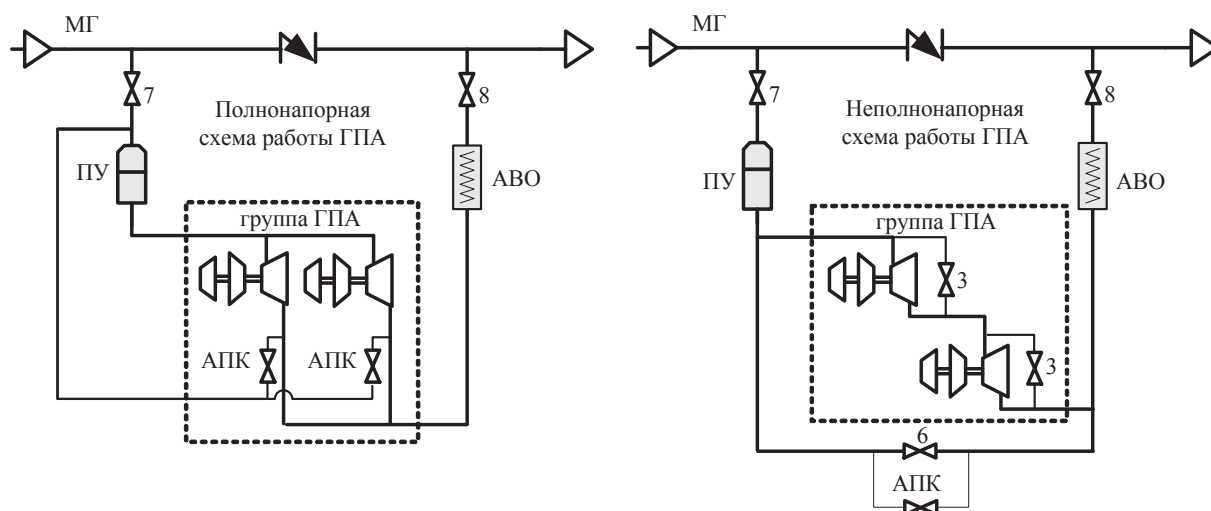


Рис. 3. Возможные схемы работы ГПА в КЦ (ПУ - пылеуловитель, АВО - аппарат воздушного охлаждения, МГ - магистральный газопровод, АПК- антипомпажный клапан)

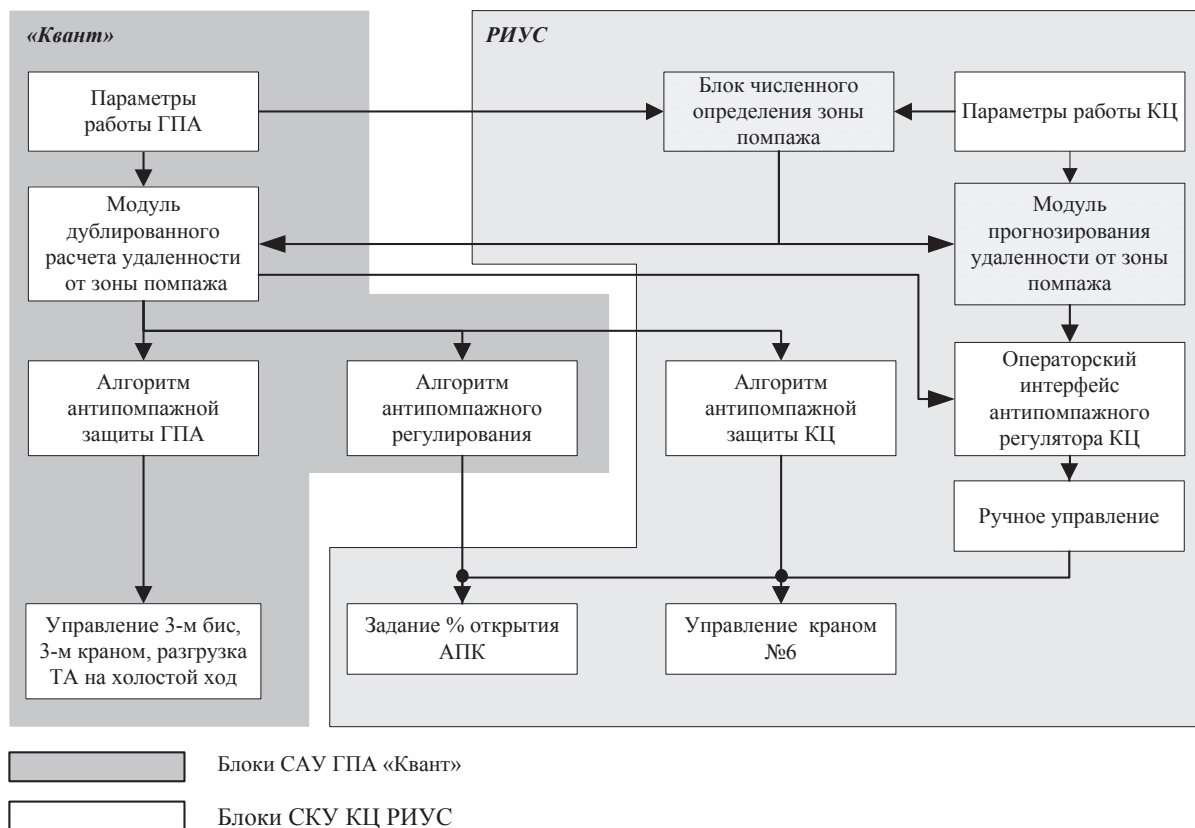


Рис. 4. Взаимодействие блоков антипомпажного регулирования и защиты уровней ГПА – КЦ

запасе по помпажу менее 30% (при наличии 2-х точек контроля вибрации).

Повышение точности расчета производительности эксплуатируемого нагнетателя до сих пор является актуальной задачей в САУ ГПА. Расчет текущей производительности в условиях, когда нет образцового расходомера у каждого ГПА, как правило, настраивает наладчик по паспортным характеристикам нагнетателя подбором коэффициента ($A_{\text{конф}}$) конфузора.

Со временем характеристики нагнетателя изменяются, и расчет производительности с предыдущими настройками становится неадекватен. Неадекватными в таком случае становятся управляющие воздействия алгоритмов антипомпажного регулирования, алгоритмы распределения нагрузки между агрегатами в цеховой системе регулирования, расчеты суммарного компримируемого газа по цеху. Выходом из сложившейся ситуации является применение метода автоматической настройки коэффициента конфузора (АНК). В основе

метода лежит математическая модель нагнетателя (паспортные характеристики), скорректированная с учетом реального технического состояния нагнетателя.

Полученные значения вносятся в итерационный расчет паспортных модельных зависимостей $Q_{\text{нр}} = f(E_{\text{нр}})$, $\eta_{\text{насп}} = f(Q_{\text{нр}})$, $E_{\text{нр}} = f(\eta_{\text{нр}})$ [11]. В результате итераций получается значение производительности, вычисленное по косвенным параметрам нагнетателя $Q = Q_{\text{нр}} \cdot \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{тнд}}}$. Пересчет коэффициента конфузора выполняется с учетом дополнительных условий адекватности диагностируемого технического состояния нагнетателя [12]. Полученное значение коэффициента конфузора автоматически записывается в штатный расчет производительности САУ ГПА.

Модуль регулятора цехового параметра формирует задание на суммарные обороты цеха, используя стандартный ПИ- алгоритм, рис. 5.

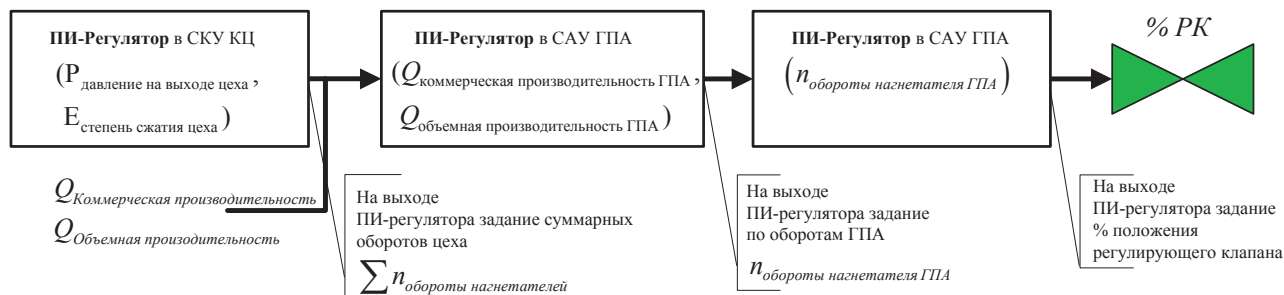


Рис. 5. Каскадная схема регулирования режима

Работа цехового регулятора происходит без пере-регулирования по выбранному параметру, с минимальным темпом отработки задания за счет применения функционального нелинейного метода регулирования давления на выходе цеха, работающего во взаимосвязи с логикой ПИ-регулятора.

Синтез программного регулятора по контуру «давление на выходе цеха» потребовал составления и анализа математической модели КЦ на участке «ГПА – трубопроводная обвязка – АВО». Декомпозиция КЦ на отдельные технологические элементы, проведенная методом структурного моделирования [13], позволяет составить требуемую математическую модель и осуществить моделирование системы с учетом любой ее топологической структуры, рис. 6.

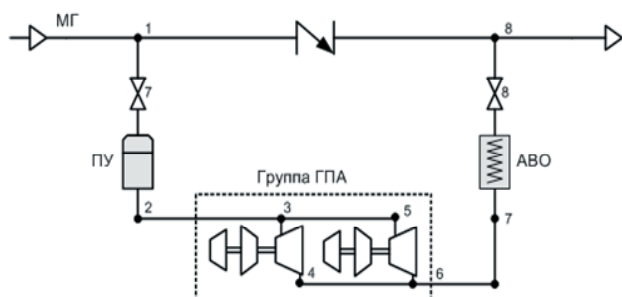


Рис. 6. Топологическая структура компрессорного цеха

Основная сложность разработки многосвязной модели заключается в учете взаимных влияний отдельных элементов технологического оборудования друг на друга в различных ситуациях (режимах) функционирования цеха, ГПА.

Рассматривалось изменение основных параметров цеха: давления P , температуры T , плотности ρ и объемного расхода газа Q в точках 3-8 (рис. 6).

Полученные модельные зависимости ТО КЦ были агрегированы в математической модели КЦ, размещенной в ПО ПРР. Функциональный нелинейный метод регулирования давления на выходе цеха использует модель при выработке управляющих воздействий при отклонении контролируемого параметра более чем на 0.002 МПа. Обработка модели происходит с периодичностью, равной длительности переходного режима для выбранной схемы работы цеха. Таким образом, совместная работа двух алгоритмов обеспечивает высокую точность и минимальную длительность переходных режимов при управлении КЦ.

В случае выхода на ограничитель работы САУ ГПА, поддержание заданной уставки по режиму обеспечивается агрегатом (агрегатами), у которого запас по регулированию больше. Если агрегат один в трассе выходит на ограничитель САУ ГПА, или все ГПА цеха вышли на ограничитель, но запас по регулированию у всех ГПА достаточный для нормальной работы, но при другой уставке по режиму, то уставка, внесенная оператором, корректируется автоматически (снижается, увеличивается), переводя режим работы цеха в допустимую зону регулирования. Модуль расчет допустимой разности нагрузки ГПА – использует в качестве опорных значений данные модуля расчета допустимой зоны работы ГПА. При включении нескольких ГПА в магистраль важно

поддерживать такое соотношение нагрузки между ними, при котором разность между максимальными и минимальными оборотами ТНД загруженных в трассу турбин не превышала предельно допустимое значение, при котором развиваются помпажные явления в нагнетателе.

Коэффициенты настройки модели цеха – блок данных (более 200 коэффициентов при наличии 8-ГПА в КЦ), полученные методом регрессионного анализа.

Оптимизационный модуль решает задачу распределения нагрузки (объемной или коммерческой производительности, а так же оборотов нагнетателей ГПА), обеспечивая минимизацию топливных затрат [6].

Непосредственная передача уставок по оборотам, производительности или коммерческой производительности, а так же пересылка команд управления осуществляется в связевом модуле СКУ КЦ рисунком 7.

Логика работы модуля формирует пересылку управляющих команд только при изменении уставок, появлении новых управляющих команд или при приближении оборотов ГПА к ограничителям. При пересылке данных происходит «синхронизация» времени пересылок дейтограмм в САУ ГПА с временем РИУС. Взаимодействие контроллеров СКУ КЦ и САУ ГПА определяет второй уровень взаимодействия программных функций регулятора режима.

Обмен данными между СКУ КЦ и САУ ГПА происходит по шине Genius или Ethernet.

Инициатором передачи данных является система РИУС при передаче данных в САУ ГПА «Квант», а при передаче данных из САУ ГПА «Квант» в РИУС – инициатор передачи данных «Квант». При организации передачи данных по шине Genius возникает задача синхронизации передаваемых дейтограмм (блоков данных) между абонентами сети. Бит синхронизации, переданный из РИУС в «Квант» обнуляет счетчик времени, определяющий порядок пересылки дейтограмм. В каждом контроллере САУ ГПА счетчик настроен на один и тот же период полного цикла – 1 секунда. При этом счетчик устанавливает временные метки, соответствующие общему количеству передаваемых дейтограмм в цехе (к примеру 24 для 8-ми агрегатов в цехе). Пересылка дейтограмм в РИУС из каждого «Квант» происходит при достижении последних 3-х временных меток счетчика. Пересылка дейтограмм из РИУС в «Квант» также выполняется по счетчику времени, полный цикл которого равен 1-й секунде. Временные метки счетчика РИУС (8 для цеха из восьми агрегатов) определяют номер ГПА, на который будет переслана дейтограмма.

Пересылка дейтограмм из РИУС в «Квант» происходит в течение одной секунды, и последовательно обнуляет счетчики пересылок каждого агрегата. Таким образом, выполняется синхронизация счетчиков САУ ГПА, и, следовательно, устанавливает очередность пересылок данных всей сети в интервале одной секунды.

Алгоритмы управления оборудованием САУ ГПА – сигналы управления, пересланные из РИУС, интегрируются в программное обеспечение САУ ГПА. ПО САУ ГПА должно быть подготовлено для принятия соответствующих сигналов цеховой системы. Для этого предусматриваются условия в блоках управления механизмами ГПА, блоках управления оборотами ТНД.

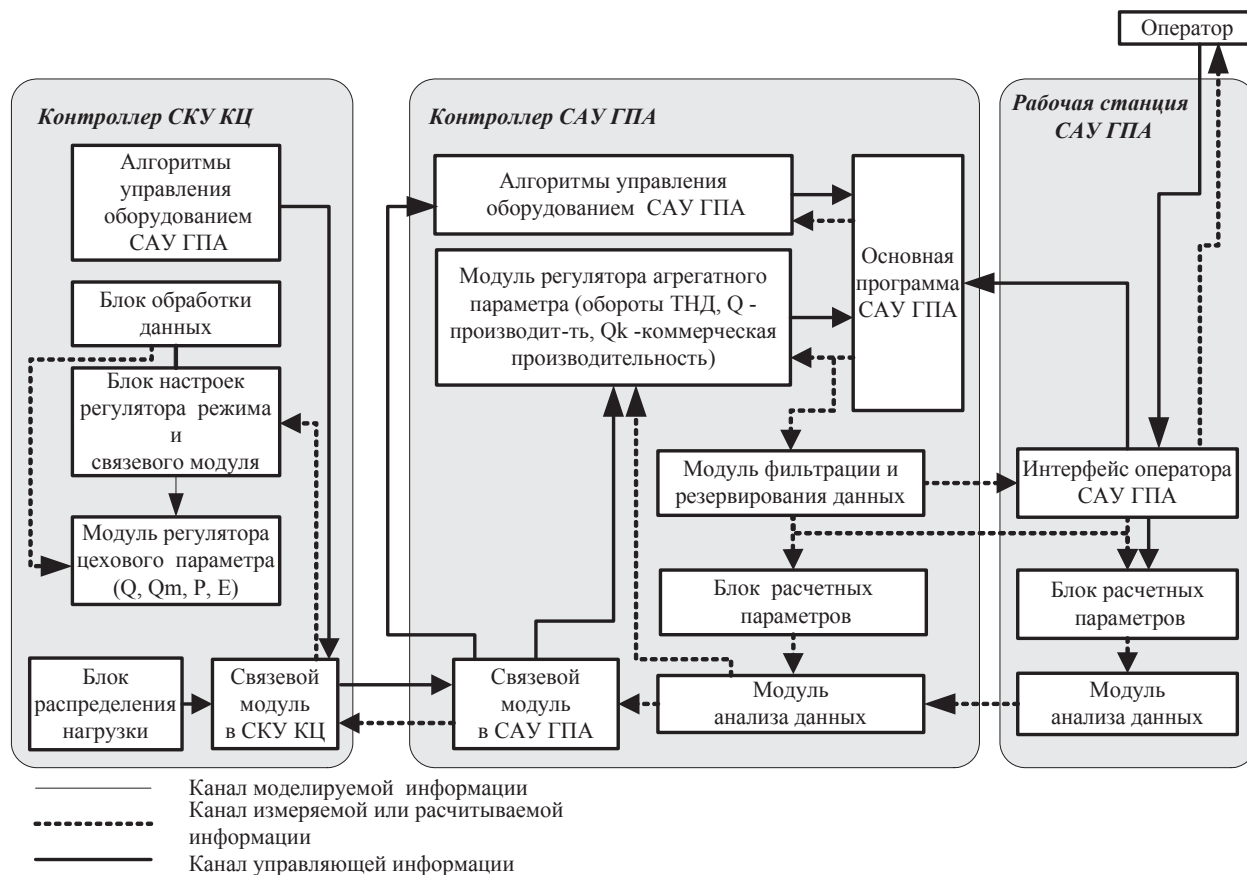


Рис. 7. Второй и третий уровни взаимодействия программных модулей ПРР

Модуль регулятора агрегатного параметра представляет собой комплекс математических и логических процедур, обеспечивающих масштабирование и переключение различных заданий цехового регулятора режима (оборотов ТНД, объемной и коммерческой производительности нагнетателя). При включенном режиме автоматического регулирования цеха по объемной либо коммерческой производительности, в работу включается программный ПИ-регулятор в САУ ГПА. Таким образом, при автоматическом управлении режимом цеха реализуется 3-х каскадная схема регулирования, рис. 5.

Таким образом, распределенная структура ПРР позволяет эффективно использовать ресурсы ПО каждого уровня. Функции, реализуемые ПРР, предъявляют дополнительные требования к ранее внедренным и функционирующим системам «Квант-6» и РИУС. Эти требования затрагивают не только включение в состав прикладных ПО РИУС собственно регулятора, но и наращивание интерфейса оператора, внедрение новых расчетных блоков в системы «Квант-6», увеличение объемов информации при обмене РИУС-«Квант», повышение динамики отработки управляющих воздействий в системе управления антипомпажным регулятором ГПА.

Результаты апробации позволили фирме ООО «Вега-ГАЗ» не только решать текущие задачи внедрения ПРР на объектах ОАО «ГАЗПРОМ». Развитие и функциональное наполнение систем «Квант» и РИУС, наращивание уровня решений технологических задач на основе полученного опыта, позволили сформули-

ровать и реализовывать концепцию управления цехом [4], соответствующую современным тенденциям в диспетчерском управлении ГТС. Такое развитие работ было бы невозможно без тесного сотрудничества ООО «Вега-ГАЗ» с предприятиями, развивающими научные школы газотранспортной отрасли: каф. компьютерных технологий в системах управления Ивано-Франковского Национального технического университета нефти и газа, каф. АСУ РГУ им. Губкина, ВНИИГАЗ, СУ «Леноргэнергогаз», ИТЦ «Газпром трансгаз Москва», ИТЦ «Газпром трансгаз Ухта».

За четыре года разработки (с 2004 по 2007 год) внедрены программные регуляторы компрессорного цеха на 8 цехах предприятий ООО «Газпром трансгаз Москва» (2 цеха), ООО «Волготрансгаз» (1 цех) и «Газпром трансгаз Ухта» (5 цехов).

Выводы исследования и дальнейшая работа в данном направлении

Впервые сформулированы основные системные факторы, осложняющие внедрение и эксплуатацию функций автоматического регулирования режимом на уровне компрессорного цеха.

При разработке программного регулятора режима на базе современных систем автоматического управления агрегатной автоматикой «Квант-6» и цеховой автоматикой РИУС фирмы ООО «Вега-ГАЗ» были учтены перечисленные в таблице 1 системные факторы и разработаны новые методы управления оборудованием КЦ.

Разработан новый метод управления общецеховым параметром «Давление на выходе цеха» и «Степень сжатия цеха» при выработке управляющих воздействий, использующий упрощенную модель компрессорного цеха, интегрированную в программное обеспечение СКУ КЦ.

Разработан новый метод косвенного расчета и автоматической настройки основного параметра ГПА – производительности нагнетателя, с помощью которого обеспечивается достоверность расчетов этого параметра и, как следствие, эффективность работы алгоритма антипомпажного регулирования ГПА и КЦ.

Перечисленные методы прошли апробацию на многих станциях ОАО «Газпром» и эксплуатируются в течение ряда лет в штатном режиме работы оборудования КЦ. Дальнейшее развитие функций автоматического управления режимом предполагается выполнить с использованием базовых принципов организации управления ПРР на уровне компрессорной станции.

Литература

1. Система автоматического управления газоперекачивающими агрегатами [Текст]: Общие технические требования. ОАО «ГАЗПРОМ», ОАО «Оргэнергогаз» М. 2006 г.
2. Автоматизация процессов газовой промышленности [Текст]/ М.А. Балавин, С.П. Прошовиков, А.З. Шайхутдинов и др.; под общей ред. А.З. Шайхутдинова. – СПб: Наука, 2003. – 496 с.
3. Computer simulation solutions for optimization of gas turbine driven compressor stations performance. [Электронный ресурс]/ К. Slobodchikov // International Freiberg Conference on IGCC & Xtal Technologies. – Режим доступа: \www/URL://http://www.iec.tu-freiberg.de/conference/conference_05/pdf/43_Konstantin.pdf / 2005 г. – Загл. с экрана.
4. Опыт внедрения оптимального цехового регулятора режима на КС «Микунь» ООО «Севергазпром» [Текст]: Сб. докладов III междунар. науч.-техн. конф., 10-13 апреля 2007 г. – «Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами (DISCOM 2007)». – М. ВНИИГАЗ, 2007. – С.99 – 103.
5. Слободчиков К.Ю. Применение математических моделей газоперекачивающего агрегата в расчетных задачах системы управления газопроводом [Текст]: Пятая Всероссийская конференция с международным участием. Математическое моделирование и краевые задачи. Секция «Моделирование и оптимизация динамических систем и систем с распределенными параметрами» 2008. [Электронный ресурс] Режим доступа : \www/URL://http://matmod.ucoz.ru/2008/maket2.pdf
6. Слободчиков К.Ю. Методи та моделі розподілу навантаження між газоперекачувальними агрегатами компрессорного цеху [Текст]/ К.Ю. Слободчиков // Науковий вісник ІФНТУНГ 2008 №2(18) – 2008. – С. 106–114. ISSN 1993-9965 / [Электронный ресурс] Режим доступа: \www/URL://http://model.exponenta.ru/slob_03.html
7. Слободчиков К.Ю. Проблемы эргономического исследования процесса разработки интерфейса систем «Человек-компьютер-АСУ ТП» [Текст]/ К.Ю. Слободчиков // Вестник Харьковского автомобильно-дорожного технического университета и Северо-Восточного Научного Центра Транспортной Академии Украины. Выпуск №17 2002. – С.100–102.
8. Мунипов, В.М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды [Текст]: Учебник./ В.М. Мунипов, В.П. Зинченко. – М.: Логос, 2001. –356с.
9. Григорьев Л.И. Диспетчерское управление трубопроводным транспортом газа: состояние, проблемы, перспективы»// I Международная научно-техническая конференция «Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли (DISCOM 2002)». // Материалы конференции/ М. 2002 г.
10. Густав Олссон Цифровые системы автоматизации и управления [Текст]: учеб. Густав Олссон, Джангуидо Пиани. – СПб.:Невский диалект, 2001, 557с.
11. Методика расчета нагнетателя [Текст]/ В.Н. Богданов, С.В. Филиппов, Н.В. Дашунин // Отчет. ООО «Мострансгаз» 2001. – 18 с
12. Слободчиков К.Ю. Применение диагностики технического состояния нагнетателя газоперекачивающего агрегата в оперативном управлении компрессорным цехом [Текст]: тез. докл. междунар. науч. школы «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов», Санкт-Петербург 2005. – 46с.
13. Слободчиков К.Ю. Метод структурного моделирования системы управления компрессорным цехом [Текст]: Сборник статей юбил. междунар. науч.-практ. конф. «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров»./ – Пенза. – 2004. –С.72-76./ [Электронный ресурс] Режим доступа:\www/URL://http://model.exponenta.ru/slob_01.html